Ueber das Spektrum des Stickstoffs in Geissler'schen Röhren, die auf tiefe Temperatur abgekühlt sind.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

verfasst und einer

Hohen philosophischen Fakultät (II. Sektion)

der

Kgl. Bayr. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt am 11. November 1907

von

John P. Donaghey.

ACAD. LUDD. BAT. BIBL.

München 1908
Otto Schmidt-Bertsch (Hans Sachs-Verlag).

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548315_0052

EINLEITUNG.

Die Untersuchungen verschiedener Spektroskopiker haben die Tatsache ergeben, dass die Spektra der verschiedenen Substanzen beträchtliche Veränderungen erleiden, je nachdem die physikalischen Bedingungen, unter welchen sie zum Leuchten gebracht werden, verschieden sind. Diese Aenderungen bestehen meistens in der Verschiedenheit der Intensität und Breite bestimmter Linien; einzelne Linien ein und desselben Spektrums werden auf verschiedene Weise beeinflusst durch die Aenderung von Versuchsbedingungen, indem einige stärker, andere schwächer werden oder ganz verschwinden.

Die Resultate der zahlreichen Untersuchungen auf diesem Gebiete zeigen, dass diese Veränderungen hauptsächlich hervorgerufen werden einerseits durch Verschiedenheit der Temperatur, des Druckes, der Dicke und der Dichte der ausstrahlenden Schicht, während man andrerseits gefunden hat, dass dann, wenn Gase und Dämpfe durch elektrische Erregung zum Leuchten gebracht werden, die Art der Entladung eine grosse Rolle spielt.

Plücker und Hittorf[1]) waren die ersten, welche diese letzteren Veränderungen untersuchten. Bei starker Entladung, unter einem Druck von 250 mm, beobachteten sie eine Verbreiterung der Stickstofflinien; eine Zunahme der Temperatur verursachte eine weitere Verbreiterung der Linien und eine Verstärkung des kontinuierlichen Grundes. Aehnliche Resultate wurden mit Schwefeldampf erzielt. Die nämlichen Forscher fanden, dass die Wasserstofflinien breiter werden, wenn eine Leydener Flasche in den Entladungskreis eingeschaltet wird. Endlich haben ihre Untersuchungen über das Sauerstoffspektrum die Tatsache festgestellt, dass einige Linien unbeeinflusst bleiben, während andere mehr oder weniger verbreitert werden.

Plücker und Hittorf schreiben diese Veränderungen einem Wechsel der Temperatur zu und sind der Ansicht, dass die Steigerung des Druckes und die stärkere Entladung diese Wirkungen allein durch eine Zunahme der Temperatur hervorbringen. Dem gegenüber meinen Frankland und Lockyer[2]) bei der Vorführung ähnlicher Resultate, dass „the widening out (of spectral lines) is due to pressure, not appreciably, if at all, to temperature per se". In einer später erschienenen Arbeit[3]) hat Lockyer seine Ansicht dahin geändert, dass man zur Erklärung der Verbreiterung der Linien nicht nur den Druck in Betracht ziehen müsse, sondern auch die Dichte oder den Partialdruck des Gases; zum Beweise dafür beruft er sich auf einen Versuch, bei welchem er die Sauerstofflinien von

---

[1]) S. Plücker and S. W. Hittorf, On the spectra of ignited gases and vapours, with especial regard to the different spectra of the same elementary gaseons substance. Phil. Trans. 155, p. 1—29 (1865).

[2]) E. Frankland and J. M. Lockyer, Preliminary Note of researches on gaseous spectra in relation to the physical constitution of the sun. Phil. Mag. (4) 38, p. 66—68 (1869).

[3]) J. M. Lockyer, Recent researches on solar chemistry. Proc. phys. Soc. 2, p 308—325 (1878); und Phil. Mag. (5) 6, p. 161—176 (1878).

einem kleinen Quantum des Gases, gemischt mit grossen Mengen von Stickstoff, bei atmosphärischem Druck ganz scharf erhielt.

Secchi[4]) machte die Beobachtung, dass der weite Teil einer Vakuumröhre ein anderes Spektrum liefert als die Kapillare, indem die Linien des ersteren schmäler sind als die des letzteren; er schreibt diesen Unterschied der niederen Temperatur im weiten Teil der Röhre zu und zieht daraus Schlüsse auf die Temperatur der Sonnenprotuberanzen.

Salet[5]) erhielt die Sauerstofflinien ganz scharf bei atmosphärischem Druck und bei vermindertem Abstand der Elektroden. Er schreibt das Resultat der niederen Temperatur zu, welche eine Folge des geringen Widerstandes in der Bahn der Entladung ist.

Die umfangreichen Untersuchungen von Liveing und Dewar[6]) gelegentlich ihrer Studien über die Sonnenflecken haben viele Fälle der Verbreiterung von Spektrallinien erkennen lassen; für die Ursache halten die beiden Autoren eine Zunahme von Dichte oder Druck, lassen es aber dahingestellt, ob diese Einflüsse direkt oder indirekt die Veränderungen herbeizuführen im stande sind. Da diese Forschungen meist an Flammenspektren ausgeführt wurden und sich nicht direkt auf den Gegenstand der

---

[4]) P. Secchi, Sur la constitution de l'aureole solaire et sur quelques particularités offertes par les gaz raréfiés, lorsqu'ils sont rendus incandescents par les courants électriques. Comptes Rendus, 70, p. 79—84 (1870).

[5]) G. Salet, Sur les spectres des métalloides. Ann. Chim. et Phys. (4) 28, p. 5—71 (1873).

[6]) G. D. Liveing and J. Dewar, On sun-spots and terrestrial elements in the sun. Phil. Mag. (5) 16, p. 401—408 (1883).

Temperature of sun-spots. ibid. (5) 17, p. 302—304 (1884).

On the influence of pressure on the spectra of flames. Proc. Roy. Soc. 49, p. 217—225 (1891), and Astron. and Astrophys. 11, p. 215—223 (1892), etc. etc.

vorliegenden Arbeit beziehen, brauchen wir uns nicht weiter damit zu befassen.

In den spektroskopischen Untersuchungen von Eder und Valenta[7]) finden sich ebenfalls interessante Ausführungen über die Verbreiterung der Linien verschiedener Spektren. Erwähnt sei nur ihr Chlorspektrogramm, welches die auffallende Wirkung von zunehmendem Druck auf bestimmte Linien zeigt. Es erweist sich, dass, während einige Linien bei Vermehrung des Druckes sich stark verbreitern, andere ihre Breite beibehalten und bloss die Intensität zunimmt.

Die oben angeführten Schriften sind nur ein geringer Bruchteil der ausgedehnten Literatur, die sich mit diesem Gegenstand befasst; sie reichen hin, um zu zeigen, dass die Tatsache der Beeinflussbarkeit der Spektrallinien durch äussere Umstände feststeht, dass aber die Ansichten über die direkte Ursache dieser Aenderungen auseinander gehen.

Die bisher erwähnten Forscher sehen die unmittelbaren Ursachen zur Veränderung der Spektrallinien in einer Ab- oder Zunahme des Druckes, der Dichte oder der Temperatur der untersuchten Substanz. Im letzten Jahrzehnt dagegen hat die Ansicht Boden gewonnen, dass die direkte Ursache zur Aenderung des Aussehens der Spektrallinien in der Art der elektrischen Erregung zum Leuchten zu suchen sei. Diese Ansicht hat zu interessanten Versuchen Anlass gegeben, die im folgenden kurz angeführt werden sollen.

Die erste Untersuchung dieser Art war die von Hemsalech[8]), welcher beobachtete, dass die Wasserstofflinien, während sie bei atmosphärischem Druck ganz breit erscheinen, sehr scharf werden, sobald Selbstinduktion in

---

[7]) J. M. Eder und E. Valenta, Das Spektrum des Chlors. Wien. Denkschr. 68 (1899).

[8]) G. A. Hemsalech, Sur les spectres des décharges oscillantes Journ. de Phys. 3. 8, p. 652—660 (1899).

den Sekundärkreis der Induktionsspule eingeschaltet wird. Auch hier fand man, dass verschiedene Linien auf ganz verschiedene Weise beeinflusst wurden, wenn man die Entladungsverhältnisse änderte; einige wurden stärker, während andere schwächer wurden oder ganz verschwanden.

Zur Erklärung seiner Resultate ist Hemsalech der Meinung, dass all diese Veränderungen durch einen Wechsel der Temperatur herbeigeführt werden, der seinerseits hervorgerufen wird durch den verzögernden Einfluss der Selbstinduktion auf die oscillatorische Entladung. Die Selbstinduktion verlängert nämlich die Dauer und vermindert infolgedessen die mittlere Intensität jeder Oscillation, und so wird die Temperatur niedriger. Kayser[9]) dagegen neigt der Ansicht zu, dass der Einfluss der Selbstinduktion in diesem Falle eine direkte Wirkung der elektrischen Entladung sei.

Huff[10]) zeigte, dass gewisse Quecksilberlinien verstärkt und andere geschwächt werden, wenn man eine Leydener Flasche und Selbstinduktion in den Sekundärkreis schaltet, während Trowbridge und Richards[11]) das rote bezw. blaue Argonspektrum erhielten, je nachdem die Entladung eine kontinuierliche oder oscillatorische war.

Schliesslich erhielten Perot und Fabry,[12]) welche einen Induktor mit und ohne Kondensator, eine Holtz-Maschine, Gleich- und Wechselströme anwandten, Abweichungen in den Spektren, je nach der Art der benutzten Elektrizitätsquelle. Diese Abweichungen bestanden in Veränderungen der Breite und Intensität einzelner Linien.

Die eben angeführten Versuche können zu Gunsten der Ansicht gedeutet werden, dass bei den beobachteten

---

[9]) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Bd. II, § 118, 172/3 (1902).

[10]) W. B. Huff, The spectra of Mercury. Astrophys. J. 12, p. 103—119 (1900).

Aenderungen die Art der Entladung die Hauptrolle spielt; aber die Beweise sind keineswegs entscheidend. Dies ist nicht zu verwundern, wenn man die komplizierten Verhältnisse, besonders bei den Geissler-Röhren, in Betracht zieht. Hier nämlich sind Temperatur, Druck und Dichte so sehr von einander abhängig, dass eine Aenderung des einen notwendigerweise eine Aenderung des andern mit sich bringt; dazu kommt der Umstand, dass Temperatur, Druck und die elektrischen Bedingungen der Leuchterregung sich gegenseitig modifizieren können. Die vorliegenden Befunde lassen nicht über die allgemeine Folgerung Kaysers hinausgehen, dass die beobachtete Erscheinung „eine komplizierte Funktion all der genannten Faktoren sein muss und dass je nach den Bedingungen bald der eine, bald der andere in den Vordergrund treten wird". [13])

Man wird nach weiteren Anhaltspunkten suchen müssen, ehe man zu einer Entscheidung gelangen kann. Der Verfasser hofft in der vorliegenden Arbeit einen kleinen Beitrag dazu liefern zu können. Versuche der in der vorliegenden Veröffentlichung beschriebenen Art, bei denen das Geisslerrohr auf tiefe Temperaturen abgekühlt wurde, sind von mehreren Forschern ausgeführt worden, zum Teil um Aufschluss zu erlangen über die Natur des Nordlichts. Man nahm dabei an, der Sitz des Nordlichts befinde sich in Schichten unserer Atmosphäre, die in Bezug auf Druck und Temperatur etwa den Verhältnissen entsprechen, die in einer von aussen stark gekühlten Geisslerröhre herrschen.

---

[11]) J. Trowbridge and Th. W. Richards, The spectra of Argon. Amer. J. (4) 3, p. 15—20 (1897).

[12]) A. Perot et Ch. Fabry, Sur l'alimentation des tubes Michelsohn par diverses sources électriques. C. R. 128, p. 1221—1223 (1899).

[13]) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Bd. II, § 216, p. 306 (1902).

Es seien in diesem Zusammenhang erwähnt die Arbeiten von Koch, Scheiner und Cantone.

Koch [14]) untersuchte die Spektra von Wasserstoff, Stickstoff und Luft in Vakuumröhren, deren Temperatur durch eine Mischung von festem CO_2 und Aether auf —80° bis 100° herabgesetzt wurde. Er fand dabei keine Veränderung in den Spektren und schliesst daraus, dass das Auftreten der für das Nordlicht besonders charakteristischen grünen Linie aus der tiefen Temperatur der Luft nicht zu erklären sei.

Scheiner [15]) führte ähnliche Versuche aus mit einer von flüssiger Luft umgebenen Wasserstoffröhre. Die Röhre wurde in einem Tesla-Feld erregt, zeigte aber keine Veränderung des Spektrums, selbst dann nicht, wenn, um eine Erhitzung des Gases zu vermeiden, das Tesla-Feld durch einen einzigen Funken erregt wurde.

Nach Vollendung meiner Untersuchungen erschien die Arbeit von Cantone [16]), der die Spektren von N- und O-Röhren bei gewöhnlicher bzw. tiefer Temperatur mit einander verglich. Bei seinen Untersuchungen bediente er sich eines Prismenspektroskops und kühlte die Röhren durch Eintauchen in flüssige Luft. Die Hauptergebnisse von Cantone sind folgende:

1. Das Spektrum von Stickstoff zeigt bei tiefer Temperatur keine bemerkbare Veränderung in Rot, Gelb und Grün. Im Gebiet des sogenannten Säulenspektrums dagegen tritt eine fundamentale Veränderung auf, indem dieses in ein Linienspektrum übergeht; die Linien des

---

[14]) K. R. Koch, Ueber das Spektrum der Gase bei tiefer Temperatur. Wied. Ann., 38, p. 213—216 (1889); auch J. de Phys. (2) 9, p. 279 (1890).

[15]) E. Scheiner. Ueber das Spektrum des Wasserstoffs in den Nebelflecken. Astrophys. J. 7, p. 231 (1898).

[16]) M. Cantone, Sullo spretto di emissione dei gas rarefatti trovantisi alla temperatura dell'aria liquida. Rendiconti Accad. Dei Lincei, Vol. XVI.° Fasc. II °.

letzteren entsprechen den scharfen Rändern der Säulen. Diese Aenderung tritt nur auf, wenn die Kapillare der Röhre von flüssiger Luft vollständig umgeben ist.

2. Bei Sauerstoff ergibt sich eine analoge Veränderung, nur in noch grösserem Masse. Bei diesem bleiben bei tiefer Temperatur nur die vier Linien 635$\mu\mu$, 615$\mu\mu$, 544$\mu\mu$, 534 $\mu\mu$ übrig, von denen die erste im Spektrum bei gewöhnlicher Temperatur überhaupt nicht vorkommt. Von den Banden sind bei tiefer Temperatur nur mehr drei zu sehen, die sämtlich durch ihre geringe Breite gekennzeichnet sind; das erste liegt zwischen 604 und 594 $\mu\mu$, das zweite zwischen 563 und 559$\mu\mu$ und das dritte zwischen 528 und 525$\mu\mu$.

Die Arbeiten von Koch und Scheiner, die zu Beginn meiner Untersuchungen vorlagen, sind mit Hilfe von Okularbeobachtungen ausgeführt. Die vorliegende Arbeit benützt photographische Methoden und hält sich dadurch frei von subjektiven Einflüssen, die gerade in Bezug auf Intensitätsverteilung leicht zu Täuschungen Anlass geben.

Vorliegende Arbeit wurde auf Anregung des Herrn Geheimrates Prof. Dr. Röntgen unternommen und unter seiner Leitung ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht ihm an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen für die Aufmunterung und entgegenkommende Förderung, die er meiner Arbeit angedeihen liess.

Apparate und Methoden.

Die Untersuchung wurde in zwei Versuchsreihen ausgeführt, von denen die eine mehr qualitative, die andere quantitative Resultate bezweckte. Zunächst sollte ein typisches Bild des ganzen Spektrums erzielt werden, und zwar bei gewöhnlicher und bei tiefer Temperatur der erregten Vakuumröhre.

Dazu wurde ein kleiner Fuess'scher Quarz-Spektrograph mit Cornu'schem Doppelprisma benutzt. Der Spalt besteht aus zwei Stahlschneiden, von denen die eine feststeht, die andere mittels einer Mikrometerschraube beweglich ist. Eine ganze Umdrehung dieser Schraube entspricht einer Spaltöffnung von 0,25 mm. Mittels einer Teilung auf dem Schraubenkopf kann die Breite des Spaltes auf 0,001 mm abgelesen werden.

Unmittelbar vor dem Spalt befindet sich eine leicht abnehmbare Rundscheibe, die um ihre Achse drehbar ist. Diese Scheibe ist mit fünf Oeffnungen versehen, von denen eine die Länge des Spaltes besitzt, während die vier andern je bloss ein viertel so lang sind. Die Lage dieser Oeffnungen ist so eingerichtet, dass bei der Umdrehung eine nach der andern vor den Spalt zu stehen kommt und so die Beleuchtung des ganzen Spaltes oder irgend eines vierten Teiles davon ermöglicht wird.

Diese Einrichtung gestattet die Aufnahme von zwei Spektren hinter einander, ohne dass eine Verschiebung der photographischen Platte nötig wird.

Der Kassettenträger des Apparates kann für sich um eine vertikale Achse gedreht werden, wodurch die Ebene der photographischen Platte sich um einen bestimmten Winkel gegen die optische Achse der Objektivlinse neigen

lässt. Diese Drehbarkeit der Kassette ist erforderlich, weil die Quarzlinsen chromatisch nicht korrigiert sind. Ein an der Kassette befestigter Zeiger geht über eine feststehende Kreisteilung und gestattet den Winkel zwischen Platte und Objektivachse abzulesen.

Der metallische Rahmen, der die Plattenkassette aufnimmt, kann vertikal verschoben werden, parallel zum Spalt.

Die beschriebenen Einrichtungen gestatten eine Anzahl von photographischen Aufnahmen auf einer und derselben Platte auszuführen.

Das ganze Kamerarohr kann um eine Vertikalachse im Zentrum des Apparates gedreht werden, so dass das Bild in die Mitte der Platte gebracht werden kann für jede Lage des Prismas. Der Winkel zwischen Spaltrohr und Kamerarohr wird an einer mit Nonius versehenen Kreisteilung abgelesen.

Die Intensität des zur Platte gelangenden Lichtes kann mittels zweier Irisblenden reguliert werden, die im Kollimator- bzw. Kamerarohr angebracht sind.

Die Justierung des Apparates ergibt sich aus dem vorhergehenden von selbst. Sie wurde auf photographischem Wege vorgenommen.

Die benützten Röhren wurden von der Firma Carl Zeiss in Jena geliefert; das Röhrenmaterial war teils gewöhnliches, teils Uviolglas. Man erhält von Röhren aus Uviolglas das Spektrum bis zur Wellenlänge 2537 Å E. während eine Röhre aus gewöhnlichem Glas bei der nämlichen Expositionszeit das Spektrum nur bis zur Wellenlänge 2953 liefert.

Bei den vorliegenden Versuchen sollte die Geissler-Röhre in ein Bad mit flüssiger Luft eingesetzt werden. Dies machte anfangs einige Schwierigkeiten, die in folgender Weise umgangen wurden.

Die Röhre hatte die Gestalt von Figur 1. Um das Licht aus dem Gefäss, das die flüssige Luft enthielt, aus-

treten zu lassen, wurde die Geissler-Röhre in der aus der Figur ersichtlichen Weise in einen Kork (d e m n f_1 f) gefasst und mit diesem Kork in die Seitenwand des Kühlgefässes eingefügt. In den Kork wurde ferner eine Glasröhre b mit Seitenansatz r eingesetzt. Die Glasröhre konnte evakuiert werden und enthielt etwas Chlorcalcium, um ein Beschlagen der Geissler-Röhre mit Eis zu verhüten. Die Platte p, durch die das Licht schliesslich in den Kollimator eintrat, bestand aus Quarz.

Der Kühlkasten wurde mit Watte umgeben um den Zutritt von Wärme hintanzuhalten und die Verdampfung der flüssigen Luft zu vermindern. Die Anordnung war so getroffen, dass die Kapillare eine horizontale Stellung einnahm, conaxial mit der Kollimatorröhre des Spektrographen.

Die Röhre wurde erregt von einem Induktorium mittlerer Grösse, das von einem kleinen Motor-Quecksilberunterbrecher betrieben wurde; als Elektrizitätsquelle dienten vier grosse Akkumulatoren.

Unter diesen Umständen gab das Induktorium einen Funken von ungefähr 5 cm in Luft, und die Kapillare der Stickstoffröhre strahlte ein glänzendes, ruhiges, weisses Licht aus. Weder Kapazität noch Selbstinduktion wurden in den Entladungskreis eingeschaltet.

Um das Spektrum des Stickstoffs bei verschiedenen Temperaturen der Geissler-Röhre auf dieselbe photographische Platte zu bekommen, wurde folgendermassen verfahren. Es wurde zuerst eine Aufnahme des Spektrums bei gewöhnlicher Temperatur gemacht, wobei die Expositionsdauer durch einen Sekundenschläger gemessen wurde. Darauf wurde der Strom ausgeschaltet und flüssige Luft vorsichtig in den Kasten eingegossen, bis die Röhre vollständig davon umgeben war. Während dessen blieb die Kassette offen und alle sonstigen Einstellungen wurden unberührt gelassen ausser der Revolverscheibe, die vor-

sichtig gedreht wurde, bis die nächste Oeffnung vor den Spalt zu stehen kam. Dadurch vermied man eine Verschiebung der Platte wie auch eventuell andere Störungen der Einstellung.

Nachdem man gewartet hatte bis die Röhre die Temperatur der flüssigen Luft angenommen hatte, wurde der Strom wieder geschlossen und eine zweite Aufnahme bei gleicher Expositionsdauer gemacht. So sind die Aufnahmen Nr. 1 und 2 auf Fig. 2 und 3 erhalten worden. Der Versuch wurde an sechs Röhren angestellt, wobei von jeder Röhre sehr viele Aufnahmen gemacht wurden.

Zur Identifizierung und Messung der Linien des untersuchten Spektrums wurden jene des Funkenspektrums von Cadmium und Zinn als Bezugslinien benützt. Diese Substanzen wurden gewählt, weil sie eine genügende Anzahl von charakteristischen Linien aufweisen, die gleichmässig durch das ganze Spektrum verteilt sind. Da der Spektrograph kein Vergleichsprisma besitzt, wurde in folgender Weise verfahren.

Das Funkenspektrum des Metalls wurde zuerst eingestellt auf eine bestimmte Oeffnung der Revolverscheibe. Hierauf brachte man die Stickstoffröhre vor den Spalt des Spektrographen und drehte die Scheibe, bis die nächste Oeffnung vor den Spalt zu stehen kam. Durch diese Oeffnung hindurch wurde das Stickstoffspektrum photographiert. Hernach wurde die Röhre wieder ausgeschaltet und vorsichtig zur Seite geschoben, um den Weg zwischen Funken und Spalt freizulassen. Man brachte jetzt die Scheibe wieder in ihre ursprüngliche Lage, schaltete den Funkenapparat mit einer Leydenerflasche mittlerer Grösse ein und photographierte das Vergleichsspektrum. So wurden z. B. Nr. 3 (Sn) und 4 (N) in Fig. 3 gewonnen.

Die Ausschaltung der Röhre und Einschaltung des Funkenapparates zwischen den Aufnahmen geschah im Dunkeln, da die Plattenkassette während der ganzen Zeit

offen blieb, um eine Verschiebung der Platte zu vermeiden.

Um die Zuverlässigkeit dieser Methode zu prüfen, wurde eine Anzahl von Aufnahmen gemacht und der Abstand bestimmter Linienpaare (von denen je eine dem Stickstoff-, die andere dem Vergleichsspektrum angehörte) gemessen. Es ergab sich eine gute Uebereinstimmung aller dieser Messungen, woraus zu schliessen ist, dass die angewandte Methode die zwei Spektren in genauer relativer Lage wiedergab.

Photographischer Prozess.

Da der Hauptzweck dieser Versuche mit dem Quarzspektrographen die Erlangung von typischen Bildern des Stickstoffspektrums bei gewöhnlicher und tiefer Temperatur der Röhre war, so war es von Vorteil, mit einer panchromatischen Platte zu arbeiten. Die „panchromatic"-Platten der Firma Wratten and Wainwright, Ltd., Croydon (England) ergaben sich als diesen Anforderungen entsprechend. Wie aus den beiliegenden Photographien ersichtlich, geben diese Platten ein gutes Bild des ganzen Spektrums vom ersten sichtbaren roten bis zum letzten von den Glasröhren durchgelassenen ultravioletten Band.

Bei diesen Platten schwankte die Expositionsdauer zwischen 3 und 5 Minuten mit einer Spaltöffnung von 0,010—0,013 mm. Entwickelt wurde mit Hydrochinonentwickler, der stark mit Wasser verdünnt war; die Entwicklungszeit betrug 120—160 Sekunden, je nach der Expositionsdauer. Ein Zusatz von ein paar Tropfen Bromkali zum Entwickler verbesserte die Kontrasteffekte des Bildes und verhinderte eine Verschleierung der Platten. Als Fixierbad diente die gewöhnliche Lösung von Natriumhyposulfit. Die Entwickelung und Fixierung wurde in vollständiger Dunkelheit ausgeführt. Die richtige Entwicklungszeit wurde durch Probieren bestimmt und mittels eines Sekundenschlägers gemessen.

Sämtliche Messungen wurden an den Negativen vorgenommen, welche zu diesem Zwecke auf geeigneten Gestellen befestigt und auf den Schlitten einer Teilmaschine gelegt wurden.

Um die Banden des N-Spektrums aus den bekannten Linien des Vergleichsspektrums zu bestimmen, wurden zwei Methoden angewandt: 1. die Methode der graphischen Interpolation und 2. die rechnerische Methode mittels der Interpolationsformel:

$$\lambda_2^2 = \frac{n_3 - n_1}{n_2 - n_1} \lambda_3^2 + \frac{n_2 - n_3}{n_2 - n_1} \lambda_1^2$$

wobei n_3 und n_1 die den Lagen der bekannten Linien entsprechenden Skalenwerte, λ_3 und λ_1 deren Wellenlänge bedeuten, während n_2 und λ_2 eine für die dazwischenliegenden gesuchten Linien entsprechende Bedeutung hat.

Die Dispersionskurve wurde durch folgende Linien festgelegt:

Li. 6708	Na. $\begin{matrix}5896\\5890\end{matrix}$	Mittel 5893	Cd. IV 5086
H. 6563 (C)	Cd. II 5379		Aer. 5003
Cd. I 6439	Cd. III 5338		H. 4861 (F).

Die geringe Dispersion des Apparates war nicht imstande die N-Banden aufzulösen, obwohl sie nach den Messungen von Hasselberg je aus 19 bis 25 Linien bestehen.[17])

Wir gehen zunächst über zu einer qualitativen Beschreibung der mit dem Quarz-Spektrographen erhaltenen Resultate.

[17]) Vgl. Watts, Index of Spectra, p. 213.

Resultate mit dem kleinen Quarz-Spektrographen.

Einige Proben sind in den Figuren 2 und 3 wiedergegeben. Die Spektrogramme der Fig. 2 sind mit Uvioloröhren erhalten, die der Fig. 3 mit Röhren aus gewöhnlichem Glas.

Fig. 2 enthält folgende Spektra:

1. und 2. Stickstoffspektrum, und zwar:
1. Röhre in flüssige Luft getaucht Spaltbreite 0,012 mm; Expositionsdauer 5 Minuten.
2. Spektrum derselben Röhre bei Zimmertemperatur (17° C.); Spaltbreite und Expositionsdauer genau wie bei 1.; nur die Revolverscheibe ist um eine Oeffnung weiter gedreht (s. o.).
3. Spektrum einer H-Röhre; Spaltbreite 0,011 mm; Expositionsdauer 4 Minuten.
   Dies war eine Probeaufnahme mit einer neuen Röhre, um sie auf ihre Reinheit zu prüfen. Das Spektrum zeigt mehrere N-Banden, besonders in Violett und Ultraviolett, was übrigens bei allen gekauften H-Röhren der Fall war. Daraus, dass diese N-Banden bei fortgesetzter Benutzung der Röhren an Intensität zunahmen, lässt sich vermuten, dass sie von Luft herrühren, die durch die Wärme der Entladung aus den Glaswänden getrieben wird.
4. Spektrum der nämlichen H-Röhre, von flüssiger Luft umgeben. Hier, wo das Glas gekühlt wurde, sind die N-Banden fast vollständig verschwunden, was die eben ausgesprochene Annahme über ihren Ursprung zu bestätigen scheint.

5. Spektrum derselben Röhre bei gewöhnlicher Temperatur; die Expositionsdauer war bei dieser und der vorhergehenden Aufnahme die gleiche (5 Minuten); dasselbe gilt auch für Spaltbreite, Oeffnung der Blenden etc.
6. Compoundspektrum von Cadmium, Wasserstoffröhre und Lithiumflamme zur Bestimmung der Dispersionskurve.

In Fig. 3 sind abgebildet: unter 1 und 2 die Spektren von Stickstoff für gewöhnliche und tiefe Temperatur (der aus gewöhnlichem Glas bestehenden Röhre), unter 3 und 4 das N-Spektrum bei gewöhnlicher Temperatur und als Vergleichsspektrum das eines Funkens zwischen Zinn-Elektroden.

Sämtliche Spektren, die mit einander verglichen werden sollen, sind auf derselben Platte aufgenommen mit dem eben beschriebenen Verfahren des Drehens der Spaltblende.

Besonders interessant sind die Aenderungen im Stickstoffspektrum. Die positive Lichtsäule der N-Röhre, die bei gewöhnlicher Temperatur eine rötliche Purpurfarbe zeigte, ging in ein gelbliches Braun über, sobald die Röhre in flüssige Luft eingetaucht wurde. Eine Untersuchung des Spektrums wies gleichzeitig eine deutliche Verstärkung von einigen gelben Banden auf, während auf jeder Seite der grünen Banden ein neuer, starker Streifen auftrat.

Folgende Banden weisen besonders auffällige Veränderungen auf:

a) Das Band λ 6615,0 wird bei tiefer Temperatur etwas stärker. Es ist das erste Band in den Tabellen von Hasselberg,[18]) der Messungen für 23 Linien angibt, von denen 6622,4 (4), 6612,9 (3) und 6593,1 (3) die

[18]) Die Messungen Hasselbergs in diesem Spektralgebiet beruhen auf Augenbeobachtung. Vgl. Hasselberg, Mémoires Akad. St. Petersb. 32, Nr. 15 (1885). — Vgl. auch Watts Index of Spectra, p. 217 (Fussnote Ψ).

hauptsächlichsten sind. (Die Zahlen in Klammern bedeuten die Intensität.) Die letzte Linie dieser Gruppe hat nach Hasselberg die Wellenlänge 6548,2 (1½).

b) Die drei nächsten Banden behalten ihre Intensität bei, werden aber schmäler, indem die Zusammenziehung in jedem Falle von Violett aus stattfindet. Eine Folge davon ist, dass die dunklen Räume zwischen den Banden breiter werden.

c) Das nächste Band (λ 6253) wird etwas schwächer.

d) Die Banden λ=6183 und 6125, die bei gewöhnlicher Temperatur sehr schwach sind, zeigen eine merkliche Zunahme an Intensität bei tiefer Temperatur. Nach Hasselbergs Tabellen sind dies die zwei schmalsten Banden in diesem Gebiet; das erste enthält nur 5 Linien — beginnend bei 6184,6 (2) —, das zweite, mehr brechbare, besteht aus 9 Linien — beginnend bei 6126,0 (4).

e) Das nächste Band λ=6066 wird bei tiefer Temperatur ganz bedeutend verstärkt; dasselbe ist bei dem nachherfolgenden λ 6003 der Fall, wenn auch nicht in solchem Masse. Hasselberg gibt Messungen von je 19 Linien dieser beiden Banden an; die erste und intensivste ist 6063,3 (5) bzw. 6012,4 (5).

f) Das Band 5953 erleidet eine sehr beträchtliche Verminderung der Intensität bei tiefer Temperatur. Während es bei gewöhnlicher Temperatur ebenso stark erscheint wie das vorhergehende und nachfolgende, nimmt seine Intensität bei tiefer Temperatur ab bis auf ein Viertel jener der benachbarten Banden. Die von Hasselberg für seine Hauptlinien λ= 5953,9 (3) und 5950,6 (4)) und für die übrigen 17 angegebenen Intensitäten zeigen auch für gewöhnliche Temperatur eine Aehnlichkeit zwischen diesem und den nebenliegenden Banden.

g) Bei den übrigen 4 Banden dieser Reihe zeigt die Platte keine Veränderungen ausser einer Zusammenziehung des letzten (λ5746), die der unter b) beschriebenen ähnlich ist. Diese einseitige Kontraktion erweckt beim ersten Anblick den Eindruck als ob die betreffenden Banden eine Verschiebung nach Rot erlitten hätten; eine genauere Untersuchung jedoch zeigt, dass ihre weniger brechbaren Ränder bei gewöhnlicher und tiefer Temperatur zusammenfallen und lässt vermuten, dass die fraglichen Veränderungen nichts anderes sind als eine Schwächung oder ein vollständiges Verschwinden jener Linien, welche den brechbarsten Teil dieser Banden bilden.

h) Wir kommen jetzt zu einer der auffälligsten Veränderungen, die bei tiefer Temperatur wahrzunehmen sind: das Auftreten der zwei starken Linien oder vielmehr Banden im Grün. Diese Banden erscheinen bei tiefer Temperatur in den Spektren aller untersuchten N-Röhren; ihr Auftreten geschah stets gleichzeitig mit einer Intensitätsverminderung des dazwischen liegenden Spektralbereichs. Bei gewöhnlicher Temperatur zeigen die Platten an den nämlichen Stellen Spuren von Linien, die aber so schwach sind, dass sie nicht ausgemessen werden konnten.

Die Messungen des weniger brechbaren gelblichgrünen Bandes zeigten, dass es eine Breite von über 20 Å. E. besitzt und dass seine Ränder den Wellenlängen etwa 5591 bzw. 5569 entsprechen. Das 2. Band hat ungefähr dieselbe Breite mit einer schwachen, verschwommenen Verbreiterung nach Violett hin; seine Mitte entspricht etwa der Wellenlänge 5316 Å. E. — Im 2. Teil der Arbeit sind die durch Eintauchen der N-Röhre in flüssige Luft hervorgerufenen Aenderungen dieser Spektralregion eingehender dargestellt.

i) Das folgende Band, das bei gewöhnlicher Temperatur ziemlich intensiv und besonders gegen Violett hin verwaschen ist, erleidet bei tiefer Temperatur eine starke Intensitätsverminderung und scheint sich in 2 scharfe Linien aufzulösen, von denen die nach Violett zu liegende die stärkere ist. Meine Messungen ergeben für diese 2 Linien die Wellenlängen λ=5209 bzw. 5178. Ein Vergleich mit Hasselbergs Tabellen zeigt, dass diese Werte den 2 Banden entsprechen, deren Hauptlinien die Wellenlängen λ=5212,7 (4½), 5207,8 (3), 5195,5 (4) bzw. λ=5183,5 (5), 5177,9 (4), 5166,5 (4) besitzen. Dieses auf meiner Platte als einziges auftretende Band besteht also aus den Linien (36) der 2 eben erwähnten Banden und die beobachtete Aenderung beruht wohl darauf, dass bei tiefer Temperatur die brechbarsten Linien jedes Bandes verschwinden. Dass dies in der Tat der Fall ist, geht aus den Spektrogrammen hervor, die mit einem Apparat stärkerer Dispersion erhalten wurden und die eingehender im 2. Teil besprochen werden.

k) Das nächste Band zeigt eine Aenderung entgegengesetzter Art, nämlich eine Zunahme der Intensität. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint es als starke, scharfe Linie mit einem schwachen, verschwommenen Streifen gegen Violett hin; bei tiefer Temperatur dagegen wird die Linie breiter, hauptsächlich gegen Rot hin; gleichzeitig wird der verschwommene Streifen viel stärker und schärfer. Meine Messungen ergaben 5066 als Wellenlänge des letzteren. Dieser Streifen ist wohl identisch mit dem Bande, dessen gegen Rot zu liegender Rand nach Hasselberg aus den starken „triplets“ 5068,3 (2½), 5066,9 (3) und 5065,3 (4) besteht. Hasselberg gibt auch Messungen für 3 schmale, weniger brechbare Banden, deren

Randlinien die Wellenlängen 5154,5 (5), 5126,1 (4) und 5098,7 (3) haben. Diese bilden wohl den anderen der 2 Streifen auf meiner Platte und die beobachtete Aenderung scheint den Schluss zuzulassen, dass das erste jener 3 Banden eine Intensitätszunahme erfährt.

l) Das nächstfolgende Band zeigt eine bedeutende Insitätsverminderung — bis auf ungefähr ein Viertel. Die „triplets", die den weniger brechbaren Rand dieses Bandes bilden, haben nach Hasselbergs Tabellen die Wellenlängen 4975,7 ($2^1/_2$), 4974,0 ($3^1/_2$) und 4972,2 ($4^1/_2$).

m) Mit Ausnahme einer geringen Kontraktion gegen Violett hin scheint das nächste Band unverändert zu bleiben [Wellenlänge λ=4917,1 (Ames)].[19])

n) Die folgende Linie ist die Wasserstofflinie (λ=4861), welche bei tiefer Temperatur kaum mehr zu sehen ist. Auf den Negativen ist ebenfalls die C-Linie sichtbar (zwischen dem 3. und 4. Band vom roten Ende), die gleichzeitig mit λ=4861 verschwindet. Das Verschwinden dieser Linien lässt sich erklären durch die Annahme, dass sie von Spuren von Wasserdampf herrühren, welcher bei tiefer Temperatur kondensiert wird.

c) Die Banden λ 4813,9, 4722,6, 4648,4 und 4573,7 erleiden wieder eine beträchtliche Zusammenziehung der nach Violett hin liegenden Ränder, ähnlich den schon erwähnten. Neben 4722,6 auf der roten Seite tritt ein breiter, verschwommener Streifen auf, welcher bei gewöhnlicher Temperatur nicht zu sehen ist; meine Messungen ergeben 4950,7 als mittleren Wert

[19]) Die für dieses und die folgenden Banden angegebenen Werte sind jene von Ames (Phil. Mag. 30, p. 57 [1890]). Seine Messungen beziehen sich auf die mittlere Linie der „triplets", aus welchen der Rand eines jeden Bandes besteht. Vgl. auch Watts, Index of Spectra, Appendix E, p. 19.

seiner Mitte. Hasselberg gibt eine Reihe von „triplets“ in diesem Gebiete an und es ist wohl möglich, dass die hier beobachtete Erscheinung auf einer Verstärkung einiger von diesen beruht.

p) Das Band λ=4489,6 scheint an der brechbaren Seite etwas stärker zu werden, während sich beim nächsten Bande λ=4415,7 in derselben Richtung eine sehr bedeutende Schwächung zeigt. Das nämliche gilt, wenn auch in geringerem Masse, von dem Bande λ=4356,3.

q) Eine andere auffallende Veränderung, welche sich bei tiefer Temperatur bemerkbar macht, ist die grosse Abschwächung der ultravioletten Banden. Alle diese gehören zur letzten der drei Gruppen, in welche die Spektrumbanden des positiven Pols des Stickstoffes eingeteilt werden.

Nach Deslandres[20]) gehören die Banden dieser Gruppe, die mit λ=3007,2 beginnt, zu NO. Die Bildung dieser Verbindung in den N-Röhren schreibt er dem Vorhandensein von Spuren von Wasserdampf zu, welcher trotz aller Vorsichtsmassregeln immer in den N-Röhren sich findet. Dieser Wasserdampf wird durch die Entladung zersetzt und der freiwerdende Sauerstoff verbindet sich mit Stickstoff zu NO. Es ist von Bedeutung, dass die Schwächung dieser Banden gleichzeitig mit dem Verschwinden der H-Linien eintritt, eine Tatsache, die Deslandres' Ansicht über ihren Ursprung zu bestätigen scheint.

In diesem ultravioletten Gebiete tritt besonders deutlich jene Abschwächung des Hintergrundes zutage, die ein allgemeines Kennzeichen des ganzen Spektrums (Nr. 1) bei tiefer Temperatur bildet. Dies ist besonders bemerkbar zu beiden Seiten der Bandengruppe 2819,7—2814,1. Infolgedessen tritt die Linie 2827,1 deutlich und scharf

---

[20]) Deslandres, Compt. Rend., 103, 375 (1886); Ann. chim. et phys. (7) 14, 257 (1888).

hervor, obgleich dieselbe in Nr. 2 nur schwer zu unterscheiden ist von dem umgebenden dunklen Hintergrund. Sehr auffallend ist wieder die Abschwächung an der violetten Seite der Bandengruppe 3158,9- 3103,8, welche den Anschein erweckt als hätte letztere eine beträchtliche Kontraktion an dieser Seite erlitten.

Endlich zeigt das Gebiet zwischen λ 3007 und λ 2976 eine merkwürdige Aenderung der Intensitätsverteilung. Während nämlich die Linien, die bei Zimmertemperatur ziemlich stark sind, bei mit flüssiger Luft gekühlter Röhre sehr schwach werden, tritt in letzterem ein breiter, starker Streifen auf, der noch intensiver erscheint als der Hintergrund an der entsprechenden Stelle in Nr. 1.

Die Spektren auf Fig. 3 wurden mit gewöhnlichen Glasröhren erhalten. Die Uviolröhren wiesen nämlich eine starke grüne Fluoreszenz auf, wenn sie in flüssiger Luft erregt wurden. Da nun die Intensität und Farbe dieser Fluoreszenz den Verdacht aufkommen liess, dass sie vielleicht irgendwie die Ursache der zwei grünen Banden sein könnte, welche im N-Spektrum bei tiefer Temperatur stark hervortraten, erschien es angebracht, die Versuche mit gewöhnlichen Glasröhren zu wiederholen, da dieser keine oder höchstens sehr geringe Fluoreszenz in flüssiger Luft zeigten. Fig. 3 (Nr. 1 und 2) nun ergibt, dass die genannten Banden auch hier auftreten und dass die Resultate in beiden Fällen übereinstimmen.

Es ist noch zu erwähnen, dass auch Versuche angestellt wurden mit einem Gemisch von festem CO_2 und Aether (— 79°) als Kühlmittel. Unter diesen Bedingungen wurden ähnliche Veränderungen beobachtet, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei der Temperatur der flüssigen Luft.

Die grüne Strahlung von Stickstoff bei tiefer Temperatur.

Der zu den eingehenderen Versuchen benützte Apparat ist das Hilfsspektroskop einer Hilger'schen Stufengitteraufstellung; er besitzt ein Wadsworthprisma von schwerem Flintglas. Seine Dispersion ist genügend stark um die grünen N-Banden aufzulösen. Die Aenderungen im Aussehen des Stickstoffspektrums beim Abkühlen der Röhre wurden photographisch aufgenommen. Der Kasten mit der N-Röhre wurde vor den Spalt des Kollimatorrohrs gebracht und der Funkenapparat mit Sn-Elektroden für die Aufnahme des Vergleichsspektrums so zur Seite aufgestellt, dass sein Licht mittels eines Vergleichsprismas in die untere Hälfte des Spaltes hineinreflektiert wurde. Das Licht von der Stickstoffröhre wurde mittels einer Zylinderlinse auf den Kollimatorspalt konzentriert.

Die benützten Platten waren Hauff-Flavin-Platten, die besonders für Grün und Gelb sensibilisiert sind. Die Expositionsdauer betrug bei der günstigsten Lichtintensität, die mit Hilfe der Zylinderlinse erreicht werden konnte, $1^1/_4$ Stunde. Bei der Aufnahme des Spektrums bei tiefer Temperatur wurde die Röhre durch Nachgiessen von flüssiger Luft beständig von dem Kühlmittel umgeben erhalten.

Der Entwicklungs- und Fixierungsprozess der Platten war der nämliche wie beim kleinen Apparat; nur wurde hier das von der Firma Hauff für diese Platten besonders hergestellte Hydrochinon benutzt. Die Entwicklungszeit betrug 130 Sekunden.

Fig. 4 und 5 zeigen die Spektrogramme, die mit dem grossen Apparat erhalten wurden. Fig. 4 enthält das grüne Gebiet des N-Spektrums bei gewöhnlicher Temperatur; Fig. 5 dasselbe Spektrum bei Abkühlung der Röhre auf etwa — 190° C. Als Vergleichsspektrum dient das des Sn-Funkens.

Die Linien des letzteren sind folgende:

Aer:[21]) 5686,3(5) 5679,8(12) 5676,0(5) 5667,1(9)
Sn: 5632 Pb: 5607 Sn: 5589 Sn: 5563 Aer: 5535,2
Aer: 5496,6 Aer: 5479,8 Aer: 5462,8 Aer: 5453,8
Sn:[22]) 5368,6 5347,6 5332,1 5289,6 (schwach)
Aer: 5224,2 5180,0

Fig. 5 (tiefe Temperatur) zeigt im Detail die zwei mit dem kleinen Apparat schon beobachteten verstärkten Banden (λ=5580 im Mittel und λ=5317). Ihr Bau zeigt etwas gegenseitige Aehnlichkeit, indem jedes Band aus zwei starken breiten Linien mit drei oder vier schwächeren dazwischen besteht; das Gebiet zwischen diesen zwei Banden weist eine allgemeine Abnahme der Intensität auf, derart dass, während in Fig. 4 der zwischen den Banden 5580 und 5317 gelegene Teil des Spektrums intensiver ist als diese, auf Fig. 5 gerade das Gegenteil der Fall ist. Die Aufnahmen der Fig. 4 und 5 sind unter genau gleichen Verhältnissen bezüglich der Belichtung und Entwicklung der Platten gemacht.

Die beigegebenen Tabellen bringen meine Messungen für die Stickstofflinien von λ=5659,5 bis λ=5201,8.

---

[21]) Die angegebenen Werte für die Luftlinien sind die von Neovius, Bihang till R. Svenska Vet. Akad. Handlingar, B. 17 (1891). Vgl. auch Watts, Index of Spectra, Appendix E, p. 1 (1894).

[22]) Die Werte für Zinn sind die von Thalen (Nova acta Soc. Upsala (III), 6, [1868]).

I. Bei gewöhnl. Temperatur		II Bei tiefer Temperatur			III Angström u. Thalén	IV Hasselberg		V Spektrum von CO		
Wellenläng.	Int u. Char.	Wellen-längen	Int. u. Char.	Bemerkungen	Wellen-längen	Wellen-längen	Int. u. Char.	Angström u. Thalén	Piazzi-Smyth u. Herschell	Int. u. Char.
5659,5	3	5659,5	< 1	wird schwächer	5657,9	5659 2	3			
						5652,0	1			
					5637,2	5638,1	1			
5613,6	3	5613,6	< 1	wird schwächer	5612,6	5613,8	3			
5606,2	< 1					5606,3	$1^1/_2$			
						5602,1			5597,9	4b.
5596,6	1					5596,0			5595,9	4b.
				Starke Abschat-tierung n. Rot bis 5596,6	5594,2	5593,2	$1^1/_2$	5591,8	5593,4	3b.
5591,7	3 s	5591,7	5			5591 0	2	5588,3	5590,8	3b.
5586,2	1	5586,2	2			5586,0	1	5585,5	5587 6	3b.
		5582,1	2		5567,9	5569,0	$3^1/_2$	5582,5	5584,5	3b.
		5577,1	2							
5569,1	3	5572,6	1			5567,1	1	5578,5	5580,6	2b.
		5569,1	3 →	w. sehr breitn Rot	5563,0	5561,8	$2^1/_2$	5574,0	5577,2	2b.
5562,8	$1^1/_2$			Bei tief. Temper. verschw. 5562,8.		5560,0	1	5570,5	5573,0	2b.

						5557,2	1	5566,5	5568,6	2b.
						5555,4	1	5562,2	5563,9	1b.
5552,.*	3	5552,1	2		5551,8	5552,1	3	5557,5	5559,0	1b.
						5549,3	$1^1/_2$			
						5547,2	$1^1/_2$			
						5545,5	$1^1/_2$			
						5542,0	1			
						5535,1	1			
						5531,3	1 n [1])			
5525,4*	4	5525,4	3		5525,2	5525,4	4 s			
						5523,5	1			
						5522,0	1			
5518,1	$2^1/_2$	5518,2	2		5518,7	5518,1	3			
						5515,9	1			
5514,3*	$3^1/_2$	5514,3	3		5513,4	5514,3	4			
5509,4	2	—		verschwindet		5509,5	2			
						5507,9	2			
5506,3*	3	5506,3	2		5506,0	5506,3	$2^1/_2$			
				Hier werden die Linien nebelig u. Hintergrund heller		5504,6	$1^1/_2$			
						5502,8	$1^1/_2$			
						5500,9	$1^1/_2$			

[1]) n bedeutet „nebelig", s „scharf" b „breit" br „breit, aber nach Rot scharf abgegrenzt".

I Bei gewöhnlich. Temperatur		II Bei tiefer Temperatur			III Angström u. Thalén	IV Hasselberg		V Spektrum von CO		
Wellenläng.	Int. u. Char.	Wellen-längen	Int. u Char.	Bemerkungen	Wellen-längen	Wellen-längen	Int. u. Char.	Angström u. Thalen	Piazzi-Smyth u. Herscell	Int. u. Char.
						5498,8	$1^1/_2$			
						5496,6	$1^1/_2$			
						5494,7	2			
5494,0	$2^1/_2$	5494,0		wird sehr schwach	5493,7	5493,6	2			
						5491,6	$1^1/_2$br			
5483,0	2			wird sehr schwach	5482,8	5483,3	$2^1/_2$br			
						5479,8	1			
5477,5*	4	5477,5	$3^1/_2$	wird sehr verschwommen	5476,9	5477,5	4			
						5476,2	2			
5471,8	2			wird schwächer	5472,6	5472,2	$2^1/_2$			
						5471,4	$1^1/_2$			
						5469,3	$1^1/_2$			
5464,1	2	5464,1	$1^1/_2$			5464,3	2			
5457,0	3	5457,0	$1_1/_2$	wird bedeutend schwächer		5457,4	2			
						5455,5	$1^1/_2$			

						5453,1	$1^1/_2$
				bildet mit den benachb. Linien einen Streifen,		5451,3	$1^1/_2$
5449,5	1					5448,6	$1^1/_2$
						5445,8	1
						5443,7	1
5441,2*	4	5441,2	4		5441,9	5441,2	4
5436,4	3				5437,0	5436,0	$3^1/_2$
5434,6	$1^1/_2$			werden verschwommen und sehen aus wie ein breit. Streifen		5434,1	2
5433,5	$1^1/_2$					5432,5	3
5429,4	1					5428,6	$1^1/_2$
						5427,9	2
						5426,2	1
						5424,2	1
5421,7*	$3^1/_2$	5421,7	$2^1/_2$		5422,1	5421,7	4
5418,8	1			Bei tiefer Temperatur kaum zu sehen.		5419,8	$1^1/_2$
						5417,7	$1^1/_2$
5416,3	1					5415,9	$1^1/_2$
						5413,0	1
						5411,6	1
						5410,1	1
5406,2*	5	5406,2	4		5406,4	5406,2	5
						5403,6	1

I. Bei gewöhnl. Temperatur		II Bei tiefer Temperatur			III Angström u. Thalén	IV Hasselberg		V Spektrum von CO		
Wellenläng.	Int. u. Char.	Wellenlängen	Int. u. Char.	Bemerkungen	Wellenlängen	Wellenlängen	Int. u. Char.	Angström u. Thalén	Piazzi-Smyth u. Herschell	Int. u. Char.
5401,2	$2^1/_2$			Bei tiefer Temperatur breit. Streifen, der nach Rot zu intensiver wird.	5401,7	5401,0	3			
5398,1	2					5399,2	2			
						5397,5	3			
5393,8	1n	5393,8	1	wird schärfer		5393,9	$1^1/_2$			
						5393,0	$1^1/_2$			
						5391,4	$1^1/_2$			
						5389,7	1			
						5388,4	1			
5387,1*	4	5387,1	3		5387,4	5387,1	4			
				In diesem Bezirk werden alle Linien schwächer		5385,2	$1^1/_2$			
						5383,2	$1^1/_2$			
						5381,7	$1^1/_2$			
						5380,2	1			
						5378,3	1			
						5375,8	1			

						5373,7	1
5371,6*	5	5371,6	4		5371,7	5371,6	5
5365,9	3			werden wie ein nach Rot zu intensiv werdend. Streifen.	5368,7	5366,4	3
						5364,6	2
5363,2	2					5362,9	3
5359,9		5359,9		wird etwas stärker		5359,4	
						5357,4	
						5355,7	
						5354,3	
5352,8*	4	5352,8	$3^1/_2$		5353,2	5352,8	4
						5350,8	
						5349,4	
Hier sind die Linien nicht genügend getrennt zum Ausmessen				Schwach. Linien die nach Rot hin etwas stärker werden.		5347,7	
						5346,2	
						5345,0	
5343,1						5342,9	
5341,7						5340,9	
5338,6*	3	5338,6	<1	wird viel schwächer	5339,7	5338,6	4
						5337,2	$1^1/_2$
5335,8	1					5335,5	$1^1/_2$
5333,5	1 n	5333,5	$1^1/_2$	wird schärfer		5333,4	br
						5327,4	

I. Bei gewöhnl. Temperatur		II Bei tiefer Temperatur			III Angström u. Thalén	IV Hasselberg		V Spektrum von CO		
Wellenläng.	Int. u. Char.	Wellenlängen	Int. u. Char.	Bemerkungen	Wellenlängen	Wellenlängen	Int. u. Char.	Angström u. Thalén	Piazzi-Smyth u. Herschell	Int. u. Char.
		5326,1	4	sehr breit		5326,7	1	Die Tabelien geben keine CO-Linien hier		
5325,0						5324,5	$1^1/_2$			
						5322,2	$1^1/_2$			
5319,5	1	5319,5	2	starke Gruppe		5320,0	$1^1/_2$			
		5315,7	2 b			5316,8	1			
		5311,8	$1^1/_2$ s			5313,7	1			
5308,1	$2^1/_2$ b	5308,1	5	Nach violett abschattiert (wird viel stärk.)		5309,4				
						5306,9				
5305,9	3 b			5305,9 verschwindet	5306,3	5305,8	4			
						5303,9				
Hier sind viele feine Linien zu sehen.				Viele feine Linien		5302,0				
						5300,2				
						5298,2				
						5296,2				
		5289,7	1	Verschwommener Streifen: da-		5294,1				

Schwache aber scharfe Linien

				neben nach Violett zu 4 Linien von Intensität etwa 1		5287,4	Schwache aber scharfe Linien
						5284,4	
						5281,5	
						5278,2	
5274,0*	3	5274,0	1	wird viel schwächer	5273,8	5274,3	3
						5268,4	
					5256,3	5256,0	
5243,1*	$3^1/_2$	5243,1	$1^1/_2$	wird bedeutend schwächer	5244,6	5243,1	4
5237,8	1			verschwindet	5239,3	5237,8	2
						5234,5	$1^1/_2$
						5232,2	$1^1/_2$
5225,8	1			verschwindet	5226,5	5225,6	$1^1/_2$
5212,7*	$4^1/_2$	5212,7	$3^1/_2$	etwas schwächer		5212,7	$4^1/_2$
						5210,8	1
						5209,3	1
5207,8	3	5207,8	1	viel schwächer	5207,7	5207,8	3
						5205,3	$1^1/_2$
						5204,0	$2^1/_2$
5201,8	3	5201,8	1	viel schwächer		5201,8	2
						5200,2	1 s
						5198,6	1 s

Die erste Spalte enthält die Wellenlängen der Linien auf Fig. 4 (bei gewöhnlicher Temperatur der Geisslerröhre; die zweite ihre Intensitäten, geschätzt nach Sn. 5589, welcher die Intensität 10 beigelegt wird. Die zwei folgenden Spalten enthalten die Wellenlängen und Intensitäten der Linien von Fig. 5 (bei tiefer Temperatur); und die Spalte „Bemerkungen" gibt eine kurze Angabe über die bei tiefer Temperatur beobachteten Veränderungen. Daneben werden zwecks einer Vergleichung die Messungen von Ångström und Thalén einerseits und von Hasselberg andrerseits für dasselbe Spektralgebiet (mit Intensitäten) aufgeführt.

Die Dispersion des Spektroskops war nicht hinreichend um alle von Hasselberg angegebenen Linien aufzulösen.

Die Linien des Vergleichsspektrums waren meist zu diffus, als dass sie eine genaue Ausmessung gestattet hätten; deshalb wurden sie bloss zur Identifizierung der Haupt-Stickstofflinien dieses Gebiets benutzt. Uebrigens liessen sich letztere auch mit ziemlicher Genauigkeit aus den Intensitätsangaben von Hasselberg ohne weiteres erkennen. Die so bestimmten Linien wurden dann als Ausgangspunkt für die Interpolation verwendet und sind in den Tabellen (Spalte 1) mit * versehen.

Die Linien 5563 (Sn), 5589 (Sn), [1]) 5607 (Pb), 5632 (Sn) und 5667 (Aer.) gestatteten aber eine sehr genaue Ausmessung und folglich sind die dazwischen liegenden N-Linien unabhängig von Hasselbergs Werten ausgemessen worden. Zu diesen letzteren gehören die Linien des weniger brechbaren der zwei verstärkten Banden in Fig. 5

---

[24]) Die zwei Sn.Linien 5563 und 5589, obgleich ziemlich breit, konnten hinreichend genau gemessen werden deswegen, weil sie sich zu scharfen Spitzen zusammengezogen oben an der Stelle, wo das Funkenlicht schwächer war. Diese Spitzen wurden als den Maximis dieser Linien entsprechend angenommen.

Die Interpolation geschah mittels der bereits angegebenen Formel:

$$\lambda_2^2 = \frac{n_3 - n_1}{\frac{n_2 - n_1}{\lambda_3^2}} \quad \frac{n_3 - n_2}{\lambda_1^2}$$

Neben einer allgemeinen Schwächung des Hintergrundes zeigt Fig. 5 eine beträchtliche Intensitätsabnahme bei mehreren Linien und zwar in verschiedenem Masse. So sind z. B. die Linien 5659,5, 5613,6, 5494,0, 5338,6, 5305,4, 5274,0, 5243,1, 5207,3 und 5201,8, welche bei gewöhnlicher Temperatur etwa die Intensität 3 besitzen, auf der bei tiefer Temperatur gemachten Aufnahme meistens nur schwer zu sehen. Andere Linien dagegen, wie z. B. 5352,8, 5371,6, 5406,2, 5441,2, 5477,5 und 5525,4, welche die weniger brechbaren Ränder von Banden bilden, erleiden nur sehr geringen Intensitätsverlust. Es scheint also, als ob in diesem Bezirk wenigstens die Randlinien in der Tat dem Einfluss der tiefen Temperatur einen grösseren Widerstand entgegensetzen als die übrigen der Banden, was man vielleicht als eine qualitative, wenn auch keineswegs völlige Uebereinstimmung bezeichnen könnte mit dem, was Cantone in dem brechbaren Gebiet beobachtet hat.

In auffallendem Gegensatz zur eben erwähnten Intensitätsverminderung steht die Verstärkung der zwei in Fig. 5 besonders hervortretenden Banden. Diese zeigen sich, wie schon gesagt, in den Spektren aller bei tiefer Temperatur untersuchten N-Röhren. Ein Vergleich zwischen Fig. 5 und 4 ergibt, dass es sich hier nicht so sehr um das Auftreten neuer Linien handelt, als vielmehr um eine bedeutende Verstärkung von solchen, die schon bei gewöhnlicher Temperatur, wenn auch in vielen Fällen nur spurenweise, vorhanden sind.

Die zwei äussersten stärksten Linien des weniger brechbaren von diesen Banden sind die Linien 5591,7 und

5569,1 (Hasselberg: 5591,0 und 5569,0), die beide eine bedeutende Erweiterung nach Rot hin zeigen, während die erstere (5591,7) an Intensität von ca. 3 bis 5 zunimmt. Die Verbreiterung von 5569,1 geht fast bis zur feinen Linie 5572,6, welche daneben auftritt und kaum davon getrennt erscheint. Durch Okularbeobachtung konnte eine Trennung dieser zwei Linien nicht wahrgenommen werden.

Für die übrigen Linien dieses verstärkten Bandes ergaben meine Messungen die Werte 5577,1, 5582,1, 5586,2 und 5591,7. Letztere erscheint in Fig. 4 als scharfe Linie von der Intensität 3 (Hasselberg: 5591,0 [2]). Bei tiefer Temperatur nimmt ihre Intensität etwa bis 5 zu und gleichzeitig erscheint eine starke Abschattierung nach Rot, die sich bis 5596,6 erstreckt.

Die Linien 5581,2, 5582,1 und 5586,2 sind auch auf Fig. 4 zu sehen, aber dort viel schwächer.

Die Tatsache, dass Hasselberg nur eine Linie 5586,0 (wohl meine 5586,2) in diesem Gebiete angibt, deutet auf die Möglichkeit, dass die anderen von mir beobachteten Linien vielleicht von irgend einem anderen Gas herrühren, wie z. B. C O oder O, die in den Röhren als Beimengungen vorhanden sein könnten. Daher wurden die vorhandenen Tabellen für die Wellenlänge der Linien solcher Substanzen mit den obigen Werten verglichen.

Unter den Substanzen, deren Vorhandensein man vermuten könnte, besitzt C O einzig Linien in diesem Gebiet; daher sind diese in den zwei letzten Spalten zwecks einer Vergleichung angegeben. Die Werte sind jene von Ångström und Thalén auf der einen und von P. Smyth und Herschell auf der anderen Seite.[25])

Wie zu sehen, weichen die in beiden Tabellen angegebenen Werte erheblich voneinander ab, in einigen Fällen bis auf 2 A E. Da nun Ångström und Thalen

[25]) Die darauf bezügliche Literatur findet sich bei Watts, Index of Spectra, p. 169.

± 2 A E als wahrscheinlichen Fehler in diesem Gebiete angeben, da ferner Smyth und Herschell an mehreren Stellen Messungen für Linien aufführen, welche bei der von Angström und Thalen benützten Dispersion für eine Messung nicht genügend aufgelöst waren, so kann man annehmen, dass die Werte von Smyth und Herschell genauer sind.

Ein Vergleich dieser Werte mit den meinigen macht es augenscheinlich, dass die einzigen Linien dieses Bandes, deren Ursprung in Frage stehen könnte, 5572,6 und 5577,1 sind; denn diese Werte kommen nahe an jene heran, welche Smyth und Herschell für die C O-Linien 5573,0 und 5580,6 angeben.

Es ist aber schwer einzusehen, warum diese verhältnismässig schwachen C O-Linien auf den Platten auftreten sollten, während keine Spuren von viel stärkeren Linien[26]) der nämlichen Substanz sich zeigen; ferner scheint kein Grund vorhanden zu sein, weshalb Linien, die im Spektrum der Substanz selbst eine so untergeordnete Rolle spielen, im Spektrum von Stickstoff so hervortreten sollten, wo höchstens Spuren von CO als Verunreinigung vorhanden sind.

Es mag noch hinzugefügt werden, dass die Messungen von Hasselberg in diesem Gebiete auf Augenbeobachtung[27]) beruhen; es ist möglich, dass die fraglichen Linien, welche, wie Fig. 4 zeigt, bei gewöhnlicher Temperatur sehr schwach sind, ihm hätten entgehen können. Aus der Tatsache also, dass sie in Hasselbergs Tabellen nicht angegeben sind, braucht man nicht zu schliessen, dass sie nicht zum Stickstoff gehören.

Wenden wir uns nun zum zweiten verstärkten Bande auf Fig. 5, so ergibt ein Vergleich mit Fig. 4, dass auch

[26]) So z. B. 5612, 5608,8, 5605,5, die nach den Tabellen von Smyth und Herschell die Intensität 5 besitzen, während jene von 5573,0 und 5580,6 nur 2 beträgt.

[27]) Vgl. Watts, Index of Spectra, p. 217. Fussnote (Ψ); Manchester 1889.

hier Spuren von fast allen Linien bei gewöhnlicher Temperatur vorhanden sind, wenn sie auch in einigen Fällen äusserst schwach sind. Die brechbarste Linie dieser Gruppe ist sehr bemerkenswert. Die bei gewöhnlicher Temperatur gemachte Aufnahme zeigt an dieser Stelle zwei Linien von fast ähnlichem Aussehen, ausser dass die nach Violett zu liegende (5505,9) etwas weniger intensiv als die andere (5508,1) ist. Bei tiefer Temperatur verschwindet diese letztere, während 5505,9 an Intensität von 2½ bis etwa 5 zunimmt, gleichzeitig eine starke Abschattierung nach Violett aufweisend. Es ist ferner interessant, dass die Abschattierung in diesem Falle nach Violett hin liegt, während sie bei 5591,6 des oben beschriebenen Bandes nach Rot hin sich erstreckt.

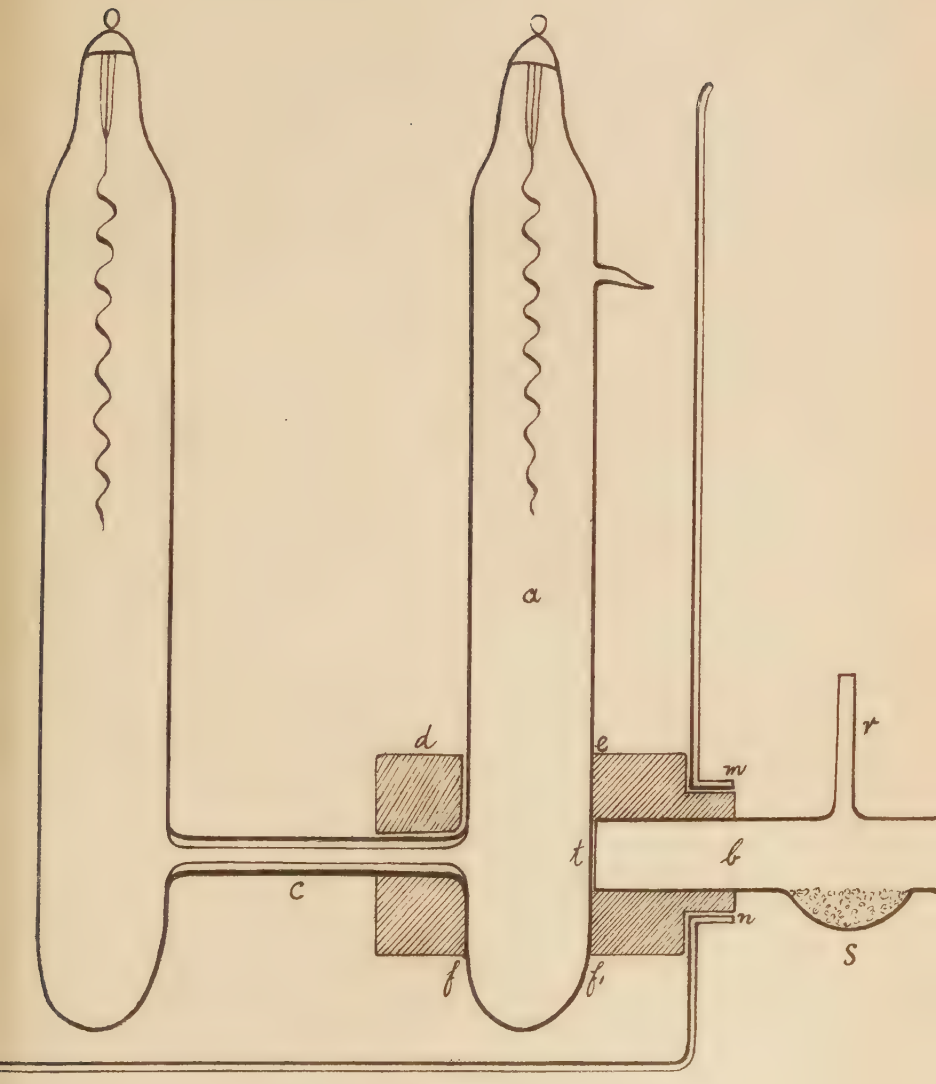
Bei den übrigen Linien dieser Gruppe ist auf ihre Intensitätszunahme hinzuweisen. Die Linie 5311,8 ist bei gewöhnlicher Temperatur nicht zu sehen, während die drei anderen, allerdings mit viel geringerer Intensität, auftreten. Die Linie 5326,1, die am meisten verstärkte in der Gruppe, ist sehr breit und von durchaus gleichmässiger Intensität; meine Messungen entsprechen ihrer Mitte.

Nach der Seite der kleineren Wellenlängen von dieser Gruppe erscheint ein anderes Band mit schwachen Linien, welches eine allgemeine Aehnlichkeit mit den zwei schon erwähnten starken aufweist. Die erste Linie dieses Bandes, für welche meine Messungen 5289,7 ergeben, ist breit und verschwommen und ähnelt der ersten Linie (5326,1) der vorhergehenden Gruppe, nur ist sie viel schwächer. Dazu enthält dieses Band vier andere Linien von ungefähr gleichem Abstand, von denen die letzte die breiteste ist; für eine Messung waren diese Linien zu schwach.

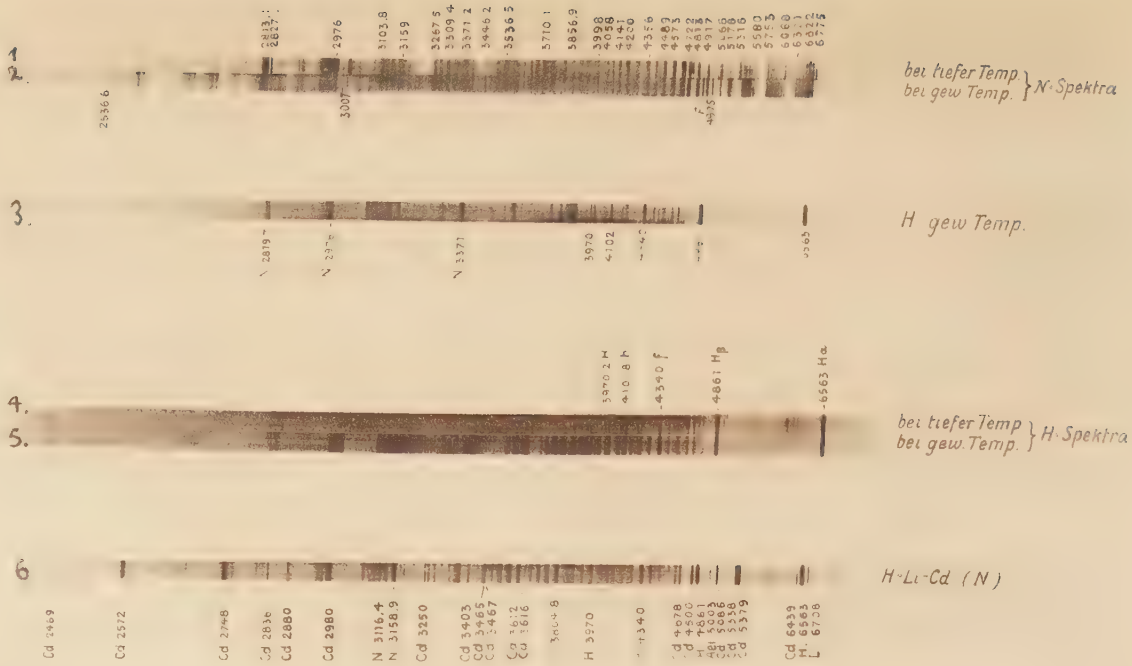
Die Tabellen geben in diesem Bereich keine CO-Linie an.

Vorliegende Untersuchungen mussten leider an dieser Stelle abgebrochen werden und so können die Resultate weder Vollständigkeit noch Endgültigkeit beanspruchen.

Die spezielle Untersuchung im zweiten Teil dieser Arbeit hat sich auf ein sehr enges Spektralgebiet beschränken müssen. Neben den hier untersuchten speziellen Veränderungen weisen, wie wir im ersten Teil gesehen haben, die mit dem kleinen Apparat gewonnenen Spektralbilder auf viele andere Veränderungen hin, welche, wenn auch nicht so auffallend, immerhin sehr beträchtlich sind. Eine detaillierte Untersuchung der letzteren, ähnlich der für Grün vorgenommenen, wäre wünschenswert. Es wird sich empfehlen, die Versuchsbedingungen dann noch weiter zu variieren, was in verschiedener Richtung möglich ist.



Figur 1.



Figur 2. 3× vergrössert.

Figur 3. 3× vergrössert.

Figur 4. 3× vergrössert.

Figur 5. 3× vergrössert.

Lebenslauf.

Ich, John P. Donaghey, wurde geboren am 3. Dezember 1879 zu Kilmovee, Co. Mayo, Irland. Nachdem ich das „Intermediate College“ in Letterkenny (Irland) absolviert hatte, bezog ich St. Patrick's College in Maynooth bei Dublin, wo ich den dort üblichen dreijährigen „Science and Arts Course“ durchmachte und am 21. Juni 1904 zum katholischen Priester geweiht wurde. Hierauf widmete ich mich ein Semester in Bonn und fünf Semester in München dem Studium der Physik.